关于排除和豁免原则实践的讨论

方 圆[1]， 李 洋[1]，熊小伟[1]，杨端节[1]

1（生态环境部核与辐射安全中心，北京 102445）

摘要　辐射防护控制中排除和豁免原则的合理运用，对当前辐射防护实践中某些现实问题的解决具有重要意义。本文针对涉及伴生放射性矿和核技术领域的人工和天然的照射情况方面辐射防护控制措施和监管要求的界定，总结分析了我国排除和豁免原则在核技术和伴生放射性矿应用实践中的适应性问题，并提出了相关的改进建议，通过尽快启动相关标准的修订工作；进一步推动 NORM 工业的辐射剂量分级管理体系以及结合我国的典型景象假设的实际情况，进一步分析 IAEA 等组织导出的放射性核素豁免值在我国的适应性，合理利用辐射防护控制中的排除和豁免概念，有效利用和节约辐射防护监管资源。

关键词　辐射防护控制；排除；豁免

中图分类号　TL99

Exclusion and exemption in radiological protection control

Fang Yuan[1], Li Yang[1], Xiong Xiaowei[1], Yang Duanjie[1]

1(*Nuclear and Radiation Safety Centre, MEE, Beijing 102445, China*)

Abstract　The rational application of the principle of exclusion and exemption in radiation protection control is highly significant for addressing practical issues in current radiation protection practice. This paper summarizes and analyzes the applicability of the principle of exclusion and exemption in nuclear technology and associated radioactive ore practices in China, considering the definition of radiation protection control measures and regulatory requirements for artificial and natural radiation exposure. It also proposes relevant improvement suggestions, emphasizing the need to promptly revise relevant standards. Furthermore, it advocates for promoting NORM industry's radiation dose classification management system while taking into account China's specific scenarios. The adaptability of radionuclide exemption values derived by IAEA and other organizations in our country is further analyzed, aiming to make reasonable use of exclusion and exemption concepts within radiation protection control practices as well as effectively utilizing and conserving regulatory resources.

Key words　Radiological protection control; Exclusion; exemption

第一作者：方圆，女，1986 年出生，2011 年于北京师范大学获硕士学位，研究领域：辐射防护与应急
通讯作者：李洋，E-mail: ly_mly@126.com
收稿日期：20XX-00-00，修回日期：20XX-00-00

针对特定源或辐射照射情况的责任和照射（危险），辐射防护确定了不同层次和水平的控制要求，这意味着辐射防护监管的法律和法规体系不可能或不需要同等程度考虑所有源或照射情况，相对应的辐射防护控制措施分别为排除（不可能监管）和豁免（不需要监管）。排除与控制能力有关，这涉及到整个辐射防护监管范围的界定；豁免与是否值得控制有关，这涉及到具体放射防护监管要求的免除。实际工作中排除和豁免的界定不是绝对的，考虑到经济、文化和社会状况的差异，不同国家的监管机构可以有不同的决定，但都应在正当性和最优化原则范畴内进行考虑[1-4]。

目前，基于照射情况的分类，ICRP 第 103 号出版物（2007 年建议书）和 IAEA 安全标准 GSR-3 在排除和豁免概念的基础上[5-8]，针对豁免提出了个人风险及其相应的剂量准则要求，进一步明确天然放射性核素活度浓度的排除水平，以及含人工放射性核素的批量（1 吨以上）放射性物料中核素活度浓度的豁免值，进一步完备了豁免的应用范围[10-12]。并得到我国《电离辐射防护和辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）和《可免于辐射防护监管的物料中放射性核素浓度活度》（GB 27742-2011）的等效采用[9,13]。对源或照射情况的豁免，继续重申应该是最优化的放射防护方案。一般情况下，个人剂量准则比集体剂量准则的应用更具有限制性，更确切地说，集体剂量准则被认为是一个筛选水平 。因此，IAEA 对适量（不超过 1 吨）放射性物质核素浓度和总量豁免值的定值，仅考虑了个人剂量准则[2-4]。

下面主要对 ICRP 和 IAEA 等国际组织以及我国在排除和豁免应用实践中的相关问题进行讨论分析。

1 辐射防护体系中的排除

有些源是不可控制的或本质上是无法控制的，如人体内 ^{40}K 和地面宇宙射线，把它们排除在放射防护监管的法律和法规体系之外是最好的解决途径 [2,6]。排除的决定，主要受源或照射的可控性，以及经济、文化和社会等因素影响，应由监管部门慎重判断。对于天然本底辐射，以及来自核武器试验、切尔诺贝利事故等引起的全球环境放射性残留物的现存照射情况，监管部门作出难于控制且控制不再合理的判断后，可从放射防护体系中将其排除。原则上，排除概念不适用涉及人工辐射或人工放射性物质的计划照射情况。

IAEA 根据联合国原子辐射效应科学委员会（UNSCEAR）提供的全球土壤中核素活度浓度分布的上限值，使用排除概念给出了天然放射性核素的活度浓度[10-12]：10 $Bq \cdot g^{-1}$（对于 ^{40}K）和 1 $Bq \cdot g^{-1}$（对于其他天然放射性核素），即对处在长期平衡条件下天然铀（钍）衰变链中的任何核素低于该活度浓度时，通常无需纳入放射防护监管。这个活度水平导致的个人剂量（不包括氡剂量）不大可能超过 1 $mSv \cdot a^{-1}$。我国相关标准已明确将天然放射性核素 ^{40}K 排除在放射防护监管之外[9,13]。

对于含有低活度浓度天然存在的放射性物质（NORM）工业活动的照射，ICRP 认为，根据情况不同可

第一作者：方圆，女，1986 年出生，2011 年于北京师范大学获硕士学位，研究领域：辐射防护与应急
通讯作者：李洋，E-mail: ly_mly@126.com
收稿日期：20XX-00-00，修回日期：20XX-00-00

采用排除和豁免两个概念。实际上，目前绝大多数 NORM 工业活动涉及的工艺物料（不仅是原料）的相关操作活动，可采用排除概念，这极大地缩小了对 NORM 工业的监管范围[11-14]。ICRP 也认为，排除的概念更广泛应用于无法控制的照射情况也是可取的，如矿物中天然放射性核素活度浓度未显著升高的作业活动[4]。

2 放射防护体系中的豁免

豁免是指监管要求不合理时，监管机构有权对照射情况的一部分或全部撤销监管控制。豁免概念最初是针对涉及人工放射性核素的计划照射情况提出来的，并不适合于应急照射情况和现存照射情况。IAEA 安全丛书 89 号和 ICRP 第 64 号出版物确定了源或照射情况的豁免原则[5,7]：（1）个人剂量小，不超过 10 μSv·a^{-1}。事实上，豁免是源相关的过程，而个人剂量主要是个人相关的，但由于对源或照射情况本身做出豁免规定比较困难，因此考虑通过个人剂量的控制来实现。（2）防护是优化的。如果产生的集体剂量在 1 人·Sv·a^{-1} 量级，防护通常被认为是优化的，但这并不意味着超过 1 人·Sv·a^{-1} 的源不可豁免。

目前，ICRP 第 103 号出版物和 IAEA 安全标准 GSR-3 重申，个人剂量一般是限制因素，将集体剂量 1 人·Sv·a^{-1} 用于豁免目的，对于绝大多数情况来说不再要求。特别是在涉及 NORM 等照射情况的豁免时，集体剂量准则实施起来比较困难，有时对集体剂量加以限制甚至是不合乎逻辑，如磷酸盐化肥作为土壤调节剂，其所致的集体剂量随使用范围的增长必然增加。另外，对可能导致较高辐射照射的低概率假想事件（一般取年概率低于 10^{-2}），从潜在照射与正常照射的风险相当的角度考虑，其个人剂量准则可放宽到 1 mSv·a^{-1} 的准则要求，然而，对于发生概率很小但后果很严重的潜在照射，不能考虑豁免[2-3,15-16]。

基于豁免的剂量准则要求，考虑放射性物质可能的不同典型景象（照射）假设，IAEA 安全标准 GSR-3 总结给出了适量（不超过 1 吨）放射性物质（各种物理形态）以及含人工放射性核素批量（1 吨以上）放射性固体物质的核素豁免值（表 1 列出了部分核素的豁免值）[3]。适量放射性物质通常适用于实践的放射性物质，如放射源，另外，批量放射性固体物质人工放射性核素活度浓度的豁免值总体上不超过适量放射性物质相应核素的豁免值。对于批量放射性固体物质天然来源放射性核素活度浓度的豁免值，IAEA 建议可采用 1 mSv·a^{-1} 量级（与除氡剂量外的天然本底辐射水平相当）的剂量准则进行评估确定[3]。

表 1 放射性物质/物料的核素豁免值

Tab. Exemption values for radioactive substances/materials

核素	半衰期	适量放射性物质		批量放射性固体物质
	/（a）	活度浓度/（Bq·g^{-1}）	活度总量/（Bq）	活度浓度/（Bq·g^{-1}）
^{3}H	1.2×10^{1}	1×10^{6}	1×10^{9}	1×10^{2}
^{14}C	5.7×10^{3}	1×10^{4}	1×10^{7}	1×10^{0}
^{63}Ni	9.6×10^{1}	1×10^{5}	1×10^{8}	1×10^{2}
^{60}Co	5.3×10^{0}	1×10^{1}	1×10^{5}	1×10^{-1}
^{90}Sr	2.9×10^{1}	1×10^{2}	1×10^{4}	1×10^{0}

^{98}Nb	9.8×10^{-5}	1×10^{1}	1×10^{5}	1×10^{1}
^{137}Cs	3.0×10^{1}	1×10^{1}	1×10^{4}	1×10^{-1}
^{232}Th	1.4×10^{10}	1×10^{1}	1×10^{4}	
^{235}U	7.0×10^{8}	1×10^{1}	1×10^{4}	
^{238}U	4.5×10^{9}	1×10^{1}	1×10^{4}	

3 排除和豁免应用实践中的几个问题

3.1 NORM 照射

与人工放射性物质的工业活动一样，NORM 工业活动对人员会产生辐射剂量，特别是活动中可能产生天然放射性核素浓度明显升高的副产品、废物或者残留物，因此 NORM 照射原则上可作为监管的对象。在某些工业，如铀、钍开采和冶炼，普遍已纳入人工源的监管体系，不在 NORM 考虑之列。然而，在有些工业，不同国家处理方式不尽相同，有的甚至忽视了 NORM 的监管。

基于全球土壤中天然放射性核素的活度浓度，IAEA 给出了核素的排除水平，可将低活度浓度的 NORM 工业活动排除在监管之外。对于 NORM 工业活动的豁免，一般情况下采用 10 μ $Sv\cdot a^{-1}$ 的附加个人剂量准则是不适用的，因为这个剂量仅为天然本底辐射的一个微小增量，不容易管理和控制。NORM 工业活动豁免的个人剂量准则（不包括氡剂量）采用公众成员剂量限值 1 $mSv\cdot a^{-1}$ 通常是合适的，这有利于界定天然来源放射性核素的排除水平和豁免值，也有利于集中资源对部分含有较高天然放射性核素浓度的 NORM 工业进行有效监管。

调查表明，我国土壤中 ^{238}U、^{232}Th 和 ^{226}Ra 活度浓度分别为 0.002-0.069、0.001-0.36 和 0.002-0.044$Bq\cdot g^{-1}$[12]。GB 18871-2002 规定的适量物质中天然铀（钍）衰变链核素活度浓度的豁免值为 1$Bq\cdot g^{-1}$，GB 27742-2011 规定的批量物料中天然铀（钍）衰变链核素活度浓度的豁免值为 1$Bq\cdot g^{-1}$，可以看出，GB 18871-2002 对天然铀（钍）衰变链核素活度总量豁免值的限制没有实际意义，缺乏可操作性。环境保护部制定的《矿产资源开发利用辐射环境监督管理名录（第一批）》（环办[2013]12 号）和《伴生放射性矿开发利用企业环境辐射监测及信息公开办法（试行）》（国环规辐射[2018]1 号）要求，相关矿产资源开发利用行业涉及的物料中铀（钍）系单个核素活度浓度超过 1$Bq\cdot g^{-1}$，应开展辐射环境影响评价和辐射环境监测工作[16-17]。概括地说，对于天然来源放射性核素活度浓度，我国现行标准未明确采用排除概念，仅规定铀（钍）系单个核素豁免值为 1$Bq\cdot g^{-1}$。

3.2 清洁解控

被豁免的源或照射情况，即使它被豁免了某些监管控制程序，但仍然处于监管控制范围之内，理论上和法律上依然存在责任人员；清洁解控是针对放射性物质，被清洁解控的物质所引起的任何照射均被排除在监管体系之外。因此，放射性物质的清洁解控，作为豁免的特例，可称其为“后验豁免”，是一个解除

所有监管控制（包括前责任人员的责任）的过程。对于固体放射性物质无需作进一步考虑的解控，IAEA 安全标准 GSR-3 建议，天然铀（钍）衰变链核素的清洁解控水平是其活度浓度不超过 $1Bq·g^{-1}$，人工核素的清洁解控水平一般不应超过批量固体物质相应核素的豁免值，解决了 IAEA 安全丛书 115 号未明确批量固体放射性物质清洁解控水平的具体要求。

清洁解控概念不适用于气液态流出物排放。获准实践所产生的流出物，受排放总量和排放浓度的管理，并要求开展流出物监测和环境监测，确保个人剂量满足相应公众剂量约束的要求。流出物通常在环境中得到稀释和弥散，但不能为了规避监管控制误用清洁解控概念，如采用人工稀释降低流出物活度浓度后进行排放。

低水平放射性物质的清洁解控，是废物最小化，避免资源不必要地应用于放射性废物处置的重要手段。考虑到放射性物质的物理或化学形态和放射性物质的使用或其处置的手段，相关国际组织和国家，基于批量材料的处置和回收情景，导出了适用于具体情况的清洁解控水平，如用单位体积的放射性浓度或单位表面积的放射性浓度表示[18-21]。

3.3 我国现行排除和豁免相关标准的适应性分析

3.3.1 人工放射性核素的排除和豁免

关于人工放射性核素的计划照射情况，原则上不适应于采用排除概念。然而，考虑到环境中无处不在的人工放射性核素，如落下灰，在监管控制不再合理情况下，可从放射防护控制中排除，按人工核素的本底辐射处理。

关于人工放射性核素的豁免值，我国现行标准 GB 18871-2002 和 GB 27742-2011 均直接采用了 ICRP 和 IAEA 的相关要求和建议[9,13]。考虑到照射景象假设的差异，有必要结合我国的典型景象假设，分析 IAEA 导出的人工放射性核素豁免值在我国的适应性，并确定核素豁免值的关键景象和照射途径。

3.3.2 天然放射性核素的排除和豁免

关于天然放射性核素的排除水平，ICRP 和 IAEA 相关出版物建议的核素活度浓度为 $1Bq·g^{-1}$，当天然铀（钍）核素衰变链中的任何核素低于该活度浓度时，可以从放射防护体系中将其排除[2-4]。我国的现行标准，未采用排除概念给出低活度浓度天然放射性核素的排除水平。因此，有必要结合我国天然核素的活度浓度的实际水平，确定其排除水平，以便有效节约放射防护监管资源。

关于天然放射性核素的豁免，ICRP 和 IAEA 相关出版物建议，对于未排除的 NORM 工业活动（核工业的铀和钍开采等活动除外）可采用 1 $mSv·a^{-1}$ 的个人剂量准则，合理确定核素活度浓度的豁免值[2-4]。我国现行标准 GB 18871-2002 和 GB 27742-2011 等规定的天然放射性核素活度浓度的豁免值为 $1Bq·g^{-1}$（数值上同 IAEA 建议的排除水平），较 IAEA 扩大了监管范围[9,13]。因此，有必要考虑我国天然放射性核素的活

度浓度，结合我国的典型景象假设，以 1 mSv·a^{-1} 的个人剂量准则为评价基础，实行分级管理，导出适合我国天然放射性核素的豁免值。国内对这方面已开展了初步探讨工作，考虑在正常运行、事故、退役情况下，参照铀矿冶设施相关规定，从职业照射和公众照射的辐射剂量为准则，在辐射剂量评价、应急计划等方面采用分级管理方式[22,23]。

4 建议

结合我国经济、文化和社会状况，合理利用放射防护控制中的排除和豁免概念，可有效利用和节约放射防护监管资源。建议如下：

（1）ICRP 第 103 号出版物和 IAEA 安全标准 GSR-3 进一步完善了放射防护控制中排除和豁免的相关要求，与我国现行标准 GB 18871-2002 有差异，特别是在批量放射性固体物质的豁免与解控方面，应尽快启动相关标准的修订工作。

（2）对于 NORM 工业活动，可采用排除和豁免两个概念。首先，明确天然来源放射性核素的排除水平，如铀（钍）系单个核素浓度为 1Bq·g^{-1}；对于未排除的 NORM 工业活动，可采用 1 mSv·a^{-1} 个人剂量准则为评价基础，在铀（钍）系单个核素浓度 1-10 Bq·g^{-1} 范围内，合理确定核素浓度的豁免值。同时，进一步推进 NORM 工业的辐射剂量分级管理体系。

（3）有必要结合我国的典型景象假设的实际情况，进一步分析 IAEA 等组织导出的放射性核素豁免值在我国的适应性，并确定核素豁免值的关键景象和照射途径。

参考文献

1　IAEA. International basic safety standards for protection against ionizing radiation and for the safety of radiation sources[R]. IAEA Safety Series No. 115. Vienna：IAEA，1996：13-27.

2　国际放射防护委员会. 国际放射防护委员会 2007 年建议书[M]// 潘自强等译校. 国际放射防护委员会第 103 号出版物. 北京：原子能出版社，2008：42-44.

3　IAEA. Radiation protection and safety of radiation sources：International Basic Safety Standards [M]. IAEA GSR Part 3. Vienna：IAEA，2014：14-36.

4　国际放射防护委员会. 放射防护控制措施的范围[M]// 刘森林等译审. 国际放射防护委员会第 104 号出版物. 北京：原子能出版社，2015：13-44.

5　IAEA. Principles for the exemption of radiation sources and practices from regulatory control[R]. IAEA Safety Series No. 89. Vienna：IAEA，1988：2-14.

6　国际放射防护委员会. 国际放射防护委员会 1990 年建议书[M]//李德平等译，李树德等校. 国际放射防护委员会第 60 号出版物. 北京：原子能出版社，1993：64-66.

7　ICRP. Protection from potential exposure: A concept framework [M]. ICRP Publication 64. Oxford and New York: Pergamon Press，1993：18-19.

8　CEC. Principles and methods for establishing concentrations and quantities (Exemption values) below which reporting is not required in the European Directive[R]. RP 65. Luxembourg：CEC, 1993：2-11.

9 核工业标准化研究所. GB 18871-2002 电离辐射防护与辐射源安全基本标准[S]. 北京：中国标准出版社，2002：29-34.

10 IAEA. Application of the Concepts of Exclusion, Exemption and Clearance Safety Guide[R]. IAEA RS-G-1.7. Vienna：IAEA，2004：10-20.

11 IAEA. Derivation of activity concentration values for exclusion, exemption and clearance [R]. IAEA Safety Report Series No. 44. Vienna：IAEA，2005：20-58.

12 UNSCEAR. Sources and effects of ionizing radiation (Report to the General Assembly), Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Annex B[R], New York: UN, 2000：89-105.

13 核工业标准化研究所. GB 27742-2011 可免于辐射防护监管的物料中放射性核素浓度活度[S]. 北京：中国标准出版社，2011：1-4.

14 IAEA. Naturally Occurring Radioactive Material (NORM V), Proceedings of the Fifth International Symposium on Naturally Occurring Radioactive Material, 19﹣22 March 2007, Seville, Spain.

15 杨端节，李冰， 陈晓秋．核与辐射应急照射情况下工作人员的照射控制[J]．辐射防护，2014，34(1)：1-4．

16 环境保护部，环办[2013]12 号. 矿产资源开发利用辐射环境监督管理名录（第一批）[S]. 2013.

17 环境保护部，国环规辐射[2018]1 号. 伴生放射性矿开发利用企业环境辐射监测及信息公开办法（试行）[S]. 2013.

18 IAEA. Application of exemption principles to the recycle and reuse of materials from nuclear facilities[R]. IAEA Safety Series No. 111-P-1.1. Vienna：IAEA，19992：11-47.

19 核工业标准化研究所. GB/T 17567-2009 核设施的钢铁、铝、镍和铜再循环、再利用的清洁解控水平[S]. 北京：中国标准出版社，2009：1-4.

20 CEC. Recommended radiological protection criteria for the recycling of metals from the dismantling of nuclear installations[R]. RP-89. Luxembourg：CEC, 1998：5-32.

21 CEC. Recommended radiological protection criteria for the clearance of buildings and building rubble from the dismantling of nuclear installations[R]. RP-113. Luxembourg：CEC, 2000：4-16.

22 刘新华，马成辉，孔祥金等. 对人为活动引起的天然放射性明显增加设施辐射监管技术体系的几点建议[J]．辐射防护，2011，31(6)：328-333．

23 刘晓超，杜娟. 伴生放射性矿山辐射安全管理现状与对策[J]．铀矿冶，2013，32(2)：104-108．

24 杨勇,高宇,杨瑞红,等.核医学放射性废物清洁解控工作现状调查与优化对策[J].中国医学装备, 2020, 17(7):6